

Михайлов А. В., Гобов Ю. Л., Смординский Я. Г.
ИФМ УрО РАН, г. Екатеринбург

СИЛЬНЫЕ МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ РАССЕЯНИЯ В ПРИБОРАХ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Рассматривается метод создания сильных магнитных полей за счет неколлинеарного расположения современных постоянных магнитов. Приведены основные принципы построения и расчета открытых и закрытых намагничивающих систем с сильными магнитными полями. Предложены варианты использования намагничивающих систем с сильными магнитными полями в области неразрушающего контроля.

Ключевые слова: *неразрушающий контроль, сильные магнитные поля, намагничивающая система, ферритометрия, электромагнитно-акустическое преобразование.*

В последнее время в литературе [1–9] часто можно встретить термин «сильные магнитные поля рассеяния». Под сильными магнитными полями рассеяния авторы работ [1–9] понимают такие поля рассеяния, напряженность H которых превышает индукцию насыщения B_s материала магнита: $H > B_s = 4 \Pi M_s$. Магнитная индукция сильных полей рассеяния, может существенно превосходить 2 Тл. Это значение превосходит индукцию насыщения феррита и любого известного на сегодняшний день ферромагнитного материала. Кроме того, при индукции, превышающей индукцию насыщения феррита, образец намагничивается до насыщения независимо от его формы (от размагничивающего фактора).

Ещё относительно недавно получение таких высоких полей было возможно только при помощи сверхпроводящих или охлаждаемых соленоидов. Однако открытия в области новых магнитных материалов, основанных на редкоземельных металлах, позволили создать намагничивающие системы

с сильными магнитными полями рассеяния. Основной отличительной чертой таких намагничивающих систем является неколлинеарное расположение магнитов – поля от постоянных магнитов, направленных «встречно», накладываются друг на друга и суммируются, не разрушая и не перемагничивая магниты, создающие эти поля. Этот эффект стал возможен благодаря гигантской магнитной анизотропии современных постоянных магнитов – коэрцитивная сила по намагниченности у современных постоянных магнитов может составлять более $2,6 \cdot 10^6$ А/м.

Более подробно метод создания сильных магнитных полей описан в работе К. Хальбаха [1]. Суть метода заключается в нахождении оптимальных направлений поляризации постоянных магнитов, расположенных неколлинеарно, при которых поле в заданном нами объеме пространства будет максимальным. Так, применяя этот метод, авторам работы [2] удалось создать закрытую, замкнутую систему типа сферы Хальбаха, в центре которой создается магнитная индукция порядка 4,5 Тл.

Закрытая намагничивающая система (рис. 1, а) представляет интерес для неразрушающего контроля и объемной ферритометрии материалов в частности. Благодаря сильному магнитному полю рассеяния, такая система позволит с легкостью определять содержание ферритной фазы любого образца (как с малым, так и с большим содержанием ферритной фазы).

Однако зачастую при неразрушающем контроле не представляется возможным поместить образец внутрь намагничивающей системы и необходимо осуществлять контроль на поверхности объекта контроля. В этом случае чрезвычайно полезными оказываются накладные намагничивающие системы (рис. 1, б). Таким образом, от намагничивающей системы (рис.1, а) можно использовать только половину (например, верхнюю половину), расположив ее при необходимости на расстоянии от поверхности объекта контроля. Безусловно, поле намагничивающей системы, изображенной на рис. 1 (б), при соблюдении пропорций и массы магнитов, будет в два раза меньше поля замкнутой

намагничивающей системы (рис. 1, а), но все равно больше 2 Тл. Для целей неразрушающего контроля такого поля достаточно, например, для локального намагничивания материала до намагниченности насыщения [3].

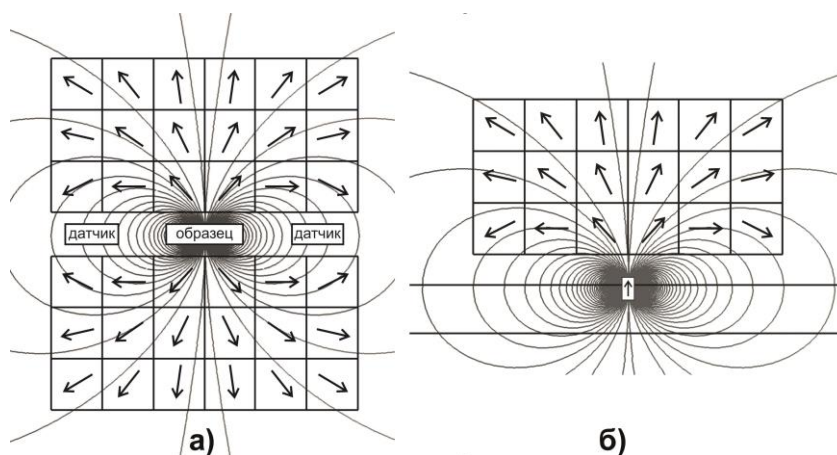


Рис. 1. Намагничивающие системы с неколлинеарным расположением магнитов (стрелками указаны направления поляризации магнитов): а – замкнутая намагничивающая система, создающая 4,5 Тл; б – накладная намагничивающая система

Кроме того, накладную намагничивающую систему можно использовать в качестве намагничивающей системы электромагнитно-акустического преобразователя. При этом эффективность двойного ЭМА преобразования можно увеличить более чем на порядок.

Таким образом, использование сильных полей рассеяния открывает новые возможности в тех областях неразрушающего контроля, в которых необходимо создавать большие магнитные поля, либо доводить материал объекта контроля до насыщения.

Литература

1. Design of permanent multipole magnets with oriented rare earth cobalt material // Nuclear instruments and methods. 1980. V. 169. P. 1–10.
2. Cugat, O. A, Bloch F., Toussaint J. C. 4-Tesla Permanent Magnet Flux Source // 15th Rare-earth magnets and their applications. International workshop. 1998. P. 853–860.

3. Патент 108626 Рос. Федерация, МПК G 01 N 27/27. Устройство для локального измерения ферромагнитной фазы материалов / Ю. Л. Гобов, А. В. Михайлов, А. П. Новослугина. № 2011104238/28; заявл. 07.02.2011; опубл. 20.09.2011.

4. A. Leupold and E. Potenziani. Augmentation of field uniformity and strength spherical and cylindrical magnetic field sources // J. Appl. Phys. 1991. V. 70. (10). № 15. P. 6621–6623.

5. Leupold H. A. and McLane G. F. Fabrication of multipolar magnetic field sources // J. Appl. Phys. 1994. V. 76(10). № 15. P. 6253–6255.

6. Optimization of permanent magnet system for height frequency electronics and NMR applications / S. V. Zhakov, E. I. Raevskii, A. Yu. Korobeinikov, A. E. Yermakov // Proc. XV Int. Workhop on REM and their Application. Dresden, 1998. V. 2. P. 875.

7. Joseph R. J., Schlomann E. Demagnetizing Field in Nonellipsoidal Bodies // J. Appl. Phys. 1965. V. 36. № 5. P. 1579–1593.

8. Несбитт Е., Верник Дж. Постоянные магниты на основе редкоземельных элементов. М.: Мир, 1977. 168 с.

9. Самофалов В. Н., Белозеров Д. П., Равлик А. Г. Сильные поля рассеяния в системах магнитов с гигантской магнитной анизотропией // Успехи физических наук. 2013. Т. 183. № 3. С. 287–306.